

10/521 106

PCT/EP03/07553

BUNDESREPUBLIK DEUTSCHLAND JAN 2005

PRIORITY DOCUMENT
SUBMITTED OR TRANSMITTED IN
COMPLIANCE WITH
RULE 17.1(a) OR (b)



REC'D 22 AUG 2003
WIPO PCT

**Prioritätsbescheinigung über die Einreichung
einer Patentanmeldung**

Aktenzeichen: 102 31 407.1

Anmeldetag: 11. Juli 2002

Anmelder/Inhaber: Infineon Technologies AG, München/DE

Bezeichnung: Bipolartransistor

IPC: H 01 L 29/732

Die angehefteten Stücke sind eine richtige und genaue Wiedergabe der ur-sprünglichen Unterlagen dieser Patentanmeldung.

München, den 5. Juni 2003
Deutsches Patent- und Markenamt
Der Präsident
Im Auftrag



Weihmayer



Beschreibung

Bipolartransistor

5 Die vorliegende Erfindung betrifft einen Bipolartransistor, der insbesondere in Form eines so genannten selbstjustierten Bipolartransistors ausgebildet sein kann.

Bei Bipolartransistoren ist der so genannte Basisbahnwiderstand (nachfolgend kurz als 'Basiswiderstand' bezeichnet) neben der Transitfrequenz und der Basis-Kollektor-Kapazität eine der entscheidenden Transistorparameter, welche wichtige Kenngrößen wie die maximale Oszillationsfrequenz, die Verstärkung ('Gain'), die minimale Rauschzahl, Gatterverzögerungszeiten, etc. des Bipolartransistors bestimmen. Dabei entspricht der Basiswiderstand dem Widerstand zwischen der Basis bzw. dem eigentlichen Basisbereich und einem externen Kontakt, der über eine Verbindungsleitung mit der Basis verbunden ist.

Hinsichtlich der zuvor erwähnten Transistorparameter gilt beispielsweise für die maximale Oszillationsfrequenz f_{\max} des Bipolartransistors:

$$f_{\max} \approx \sqrt{\frac{f_T}{8\pi \cdot R_B \cdot C_{BC}}} \quad \dots (1)$$

wobei f_T die Transitfrequenz, R_B den Basiswiderstand und C_{BC} die Basis-Kollektor-Kapazität des Bipolartransistors darstellen.

Für die minimale Rauschzahl F_{\min} eines Bipolartransistors gilt in Abhängigkeit von dem Basiswiderstand R_B und der Frequenz f :

$$F_{\min} \approx 1 + \frac{1}{\beta} + \frac{f}{f_T} \cdot \sqrt{\frac{2 \cdot I_C}{V_T} \cdot R_B \cdot \left(1 + \frac{f_T^2}{\beta \cdot f^2}\right)} + \frac{f_T^2}{\beta \cdot f^2} \quad \dots (2)$$

mit β als Kleinsignal-Stromverstärkung, I_c als Kollektorstrom und V_T als thermischer Spannung des Bipolartransistors.

5 Aus den beiden Formeln (1) und (2) ist ersichtlich, dass der Basiswiderstand R_B für schnelle Schaltvorgänge und niedrige Rauschzahlen klein sein sollte. Ein Verfahren zum Reduzieren von Verlusten bei Bipolartransistoren ist die Verwendung einer Polysilizium-Elektrode zum Kontaktieren der Basis. Eine 10 p^+ -Polysiliziumschicht sieht für den Basisstrom einen niederohmigen Pfad mit entsprechend geringer Kapazität vor.

Besonders kleine Basiswiderstände können beispielsweise durch Anwendung des Konzepts des sogenannten 'selbstjustierten 15 Doppelpolysilizium-Bipolartransistors' erzielt werden, wie es in „Self-Aligned Bipolar Transistors for High-Performance and Low-Power-Delay VLSI“, T.H. Ning et al., IEEE Transactions on Electron Devices, Vol. ED-28, No. 9, Seiten 1010-1013, 1981, beschrieben ist. Dieses Konzept findet daher in nahezu allen 20 gängigen Produktionstechnologien für Höchstfrequenz-Bipolartransistoren Verwendung.

In der beiliegenden Figur ist ein derartiger selbstjustierter npn-Doppelpolysilizium-Bipolartransistor in Querschnittsansicht dargestellt. Der Emitter 3 wird über eine n^+ -dotierte Polysilizium-Elektrode 1 kontaktiert. Der p^+ -dotierten Basis 4 ist eine p^+ -Polysilizium-Elektrode 2 zugeordnet. Die selbstjustierte Emitter-Basis-Isolation 7 wird als 'Spacer' bezeichnet. Ferner sind unter der Emittorelektrode 3 eine 30 TEOS ('Tetraethoxysilan/Tetraethylorthosilikat') - Isolationsschicht 6 und unter der Basiselektrode 2 eine LOCOS ('Local Oxidation of Silicon') - Isolationsschicht 8 vorgesehen. In der Figur ist ebenfalls gestrichelt der Kollektorbereich 5 des Bipolartransistors (ohne zugehörige 35 Kollektorelektrode) angedeutet. Ein Verfahren zur Herstellung eines derartigen Bipolartransistors ist zum Beispiel in der EP-B1-0 535 350 beschrieben.

Bei einem selbstjustierten Doppelpolysilizium-Bipolartransistor, wie er in der Figur dargestellt ist, setzt sich der Basiswiderstand R_B im wesentlichen aus drei Anteilen zusammen, die im Folgenden als 'innerer' Widerstandsanteil R_{Bi} , als 'externer' Widerstandsanteil R_{Be} und als 'Link'-Widerstandsanteil R_{Bl} bezeichnet werden. Der innere Widerstandsanteil R_{Bi} entsteht durch den Widerstand im Basisgebiet am aktiven Transistorbereich. Der externe Widerstandsanteil R_{Be} beschreibt den Widerstand der Polysilizium-Basiselektrode 2, welche zu dem externen Basiskontakt führt. Der Link-Widerstandsanteil R_{Bl} stellt den Basiswiderstand dar, der durch die niedrig dotierte Zone unter der selbstjustierten Emitter-Basis-Isolation, den Spacern 7, entsteht.

15

Bei heutigen Bipolartransistoren wird der gesamte Basiswiderstand R_B in der Regel durch die Summe aus dem inneren Widerstandsanteil R_{Bi} und dem Link-Widerstandsanteil R_{Bl} dominiert. Aufgrund fortschreitender lateraler Skalierung der Bauteile werden auch der innere Widerstandsanteil R_{Bi} und der Link-Widerstandsanteil R_{Bl} kontinuierlich reduziert. Gleichzeitig wird der externe Widerstandsanteil R_{Be} immer größer, da die mit der lateralen Skalierung verknüpfte vertikale Bauteilskalierung immer dünnere Polysiliziumschichten als Anschlusselektroden erfordert und der Schichtwiderstand dieser Anschlussgebiete damit immer größer wird. Somit gewinnt der externe Widerstandsanteil R_{Be} für den gesamten Basiswiderstand R_B immer mehr an Bedeutung.

30

Um den Schichtwiderstand der Basiselektrode 2 möglichst gering zu halten, werden im allgemeinen mit Bor dotierte Polysiliziumschichten verwendet, wobei die Bor-Dotierung über der elektrisch aktivierbaren Konzentration von typischerweise größer als $5 \times 10^{20} \text{ cm}^{-3}$ gewählt wird, um den kleinstmöglichen Schichtwiderstand zu erzielen. Man wählt das Bor-Dotieratom aufgrund der Überlegung, dass Bor wenig oder gar keine Auswirkungen auf das Kornwachstum hat und nicht dazu neigt,

sich während thermischer Bearbeitungsvorgänge an Korngrenzen abzusondern. Das Modell der Dotierstoffabsonderung nimmt an, dass die Leitfähigkeit durch Absonderung von Dotieratomen zu den Korngrenzen gesteuert wird, wo die Atome selbst gefangen werden und elektrisch inaktiv werden. Außerdem unterdrückt eine hohe Dotierstoffkonzentration an den Korngrenzen das Kornwachstum während des Aushärtens („Annealing“). Rückverteilung implantierter Dotierstoffe und größere Korngrößen während anschließender Aushärtungsschritte verändern die elektrischen und strukturellen Eigenschaften der Schichten, was den externen Widerstandsanteil R_{Se} des Basiswiderstands R_B deutlich beeinflusst. Das Hauptproblem stellt das Aushärtungsverhalten von Si-Proben mit Dotieratomen dar. Tatsächlich ist nur ein kleiner Anteil von etwa 10% der Dotieratome ionisiert. Es wird angenommen, dass inaktive, nicht-ausgeschiedene Dotieratome in Clusterform vorliegen; die Clusterbildung der Dotieratome findet bei der Aushärtungstemperatur oder alternativ hauptsächlich während des Abkühlens der Probe statt. Bei typischen Dotierungswerten von Bor größer als $5 \times 10^{20} \text{ cm}^{-3}$ und einer Schichtdicke von 150-250 nm können minimale Schichtwiderstände von etwa 50-100 Ω/\square erzielt werden.

Der vorliegenden Erfindung liegt die Aufgabe zugrunde, einen Bipolartransistor bereitzustellen, bei dem der Schichtwiderstand der Anschlusselektroden, insbesondere der Basis-elektrode, weiter reduziert ist.

Diese Aufgabe wird gemäß der Erfindung durch einen Bipolartransistor mit den Merkmalen von Anspruch 1 gelöst. In den Unteransprüchen sind bevorzugte und vorteilhafte Ausführungsformen der vorliegenden Erfindung angegeben.

Erfundungsgemäß wird vorgeschlagen, bei Bipolartransistoren anstelle herkömmlicher Polysiliziumelektroden Polysiliziumschichten zu verwenden, in welche Fremdatome eingebracht.

sind, welche eine hohe Dichte an Gitterleerstellen im Elektrodenmaterial bewirken.

Als Fremdatome werden vorzugsweise C-, P- oder Ar-Atome, 5 besonders bevorzugt C-Atome verwendet. Die Dichte der Fremdatome in der Polysiliziumschicht liegt dabei vorzugsweise etwa im Bereich von 10^{19} - 10^{21} cm^{-3} .

Kohlenstoff mit einer hohen Löslichkeit in Silizium kann in 10 dem Siliziumgitter sowohl an Zwischengitterplätzen als auch an den energetisch günstigeren Gitterplätzen im Austausch für ein Si-Atom eingebaut werden. Die C-Atome auf den Gitterplätzen fangen auf Zwischengitterplätzen vorhandene Si-Atome ein und bilden somit gebundene Zwischengitterkomplexe.

15 Aufgrund dieses Einfangmechanismus der C-Atome werden zusätzliche Gitterleerstellen erzeugt. Daher sieht der Kohlenstoff in der Polysiliziumschicht während des Aushärtens Senken für Zwischengitterplätze vor, wodurch eine Zwischengitterplatz-getriebene Clusterbildung von beispielsweise Bor- 20 Dotieratomen unterdrückt und damit die Menge und somit die Konzentration aktiver Dotieratome erhöht werden kann. Dies führt zu einem niedrigeren Schichtwiderstand der beispielsweise mit Bor dotierten Polysiliziumschicht und somit zu einem kleineren Basiswiderstand. Dieser Effekt kann durch die Verwendung von Polysiliziumschichten aus polykristallinem Silizium-Germanium noch erhöht werden.

Da Kohlenstoff in der Halbleitertechnik allgemein verwendet wird und sowohl direkt während des Schichtwachstums als auch 30 durch Ionenimplantation in die Polysiliziumschicht der Elektroden eingebracht werden kann, kann das oben beschriebene Konzept der Erfindung einfach und kostengünstig in Herstellungsverfahren von herkömmlichen Bipolartransistoren implementiert werden.

35

Ein weiterer Vorteil liegt darin, dass C-Atome ohne wesentliche Störung des Si-Gitteraufbaus eingebaut werden können,

da selbst SiC nur ein um etwa 3% größeres Volumen als reines Si besitzt.

Obwohl sich die vorliegende Erfindung insbesondere auf
5 Bipolartransistoren bezieht, ist grundsätzlich auch der Einsatz bei anderen Transistorarten wie beispielsweise FET-, MOS- oder CMOS-Transistoren denkbar.

Die Erfindung wird nachfolgend unter Bezugnahme auf die
10 einzige Figur eines bevorzugten Ausführungsbeispiels näher erläutert.

Hinsichtlich des in der Figur dargestellten Ausführungs-
beispiels kann zur Vermeidung von Wiederholungen weitgehend
15 auf die obigen Ausführungen zum Stand der Technik verwiesen werden. In der Figur ist - wie bereits zuvor erwähnt - ein selbstjustierter npn-Bipolartransistor in Querschnittsdarstellung gezeigt.

20 Der Emitter 3 des Bipolartransistors ist über eine n⁺-dotierte Polysilium-Elektrode 1 kontaktiert, und der p⁺-dotierten Basis 4 ist eine p⁺-dotierte Polysilizium-Elektrode 2 zugeordnet. Spacer 7 sind als selbstjustierte Emitter-Basis-Isolation vorgesehen. Darüber hinaus ist unter der Emitterelektrode 1 eine TEOS-Isolationsschicht 6 und unter der Basiselektrode 2 eine LOCOS-Isolationsschicht 8 vorgesehen. In der Figur ist ebenfalls der Kollektorbereich 5 des Bipolartransistors (gestrichelt) angedeutet.

30 Als Basiselektrode 2 wird eine Polysiliziumschicht verwendet, in die C-Fremdatome mit einer Konzentration von 10^{19} - 10^{21} cm⁻³ eingebracht worden sind. Dies kann entweder mittels Ionenimplantation oder alternativ ohne zusätzlichen Implantations-
35 schritt direkt während des Schichtwachstums erfolgen. Zusätzlich wird die Polysiliziumschicht, wie bereits bekannt, mit Bor-Atomen in einer Konzentration von größer als 5×10^{20} cm⁻³ dotiert..

- Die C-Fremdatome lagern sich an Zwischengitterplätzen und bevorzugt an den energetisch günstigeren Gitterplätzen in das Si-Gitter ein. Die C-Fremdatome auf den Gitterplätzen fangen 5 Si-Atome von Zwischengitterplätzen ein und bilden gebundene Zwischengitterkomplexe. Aufgrund dieser eingefangenen Si-Atome werden zusätzliche Gitterleerstellen mit einer geschätzten Dichte von etwa 10^{19} cm^{-3} erzeugt. Die so gebildeten Si-C-Agglomerate sind bis etwa 700°C stabil, bei höheren 10 Temperaturen wandeln sie sich in $\beta\text{-SiC}$ um, wobei das im Vergleich zu der Si-Matrix um etwa 3% etwas größere Volumen von SiC ebenfalls durch Gitterstellen leicht kompensiert werden kann, so dass keine unerwünschten Spannungen in den Elektroden entstehen. Der Kohlenstoff erzeugt auf diese Weise 15 während des Aushärtens in der Polysiliziumschicht Senken für Zwischengitterplätze, wodurch eine Zwischengitterplatz-getriebene Clusterbildung der Bor-Dotieratomen unterdrückt und damit die Menge aktiver Dotieratome erhöht werden kann.
- 20 Die so erzeugte höhere Konzentration aktiver Dotieratome führt zu einem niedrigeren Schichtwiderstand der mit Bor dotierten Polysiliziumschicht und somit zu einem kleineren Basiswiderstand. Dieser Effekt kann durch die Verwendung von Polysiliziumschichten aus polykristallinem Silizium-Germanium noch erhöht werden.
- Selbstverständlich können alternativ oder zusätzlich zu der Basiselektrode 2 auch die Emittorelektrode 1 und die Kollektorelektrode in der erfindungsgemäßen Weise ausgebildet 30 werden.

Patentansprüche

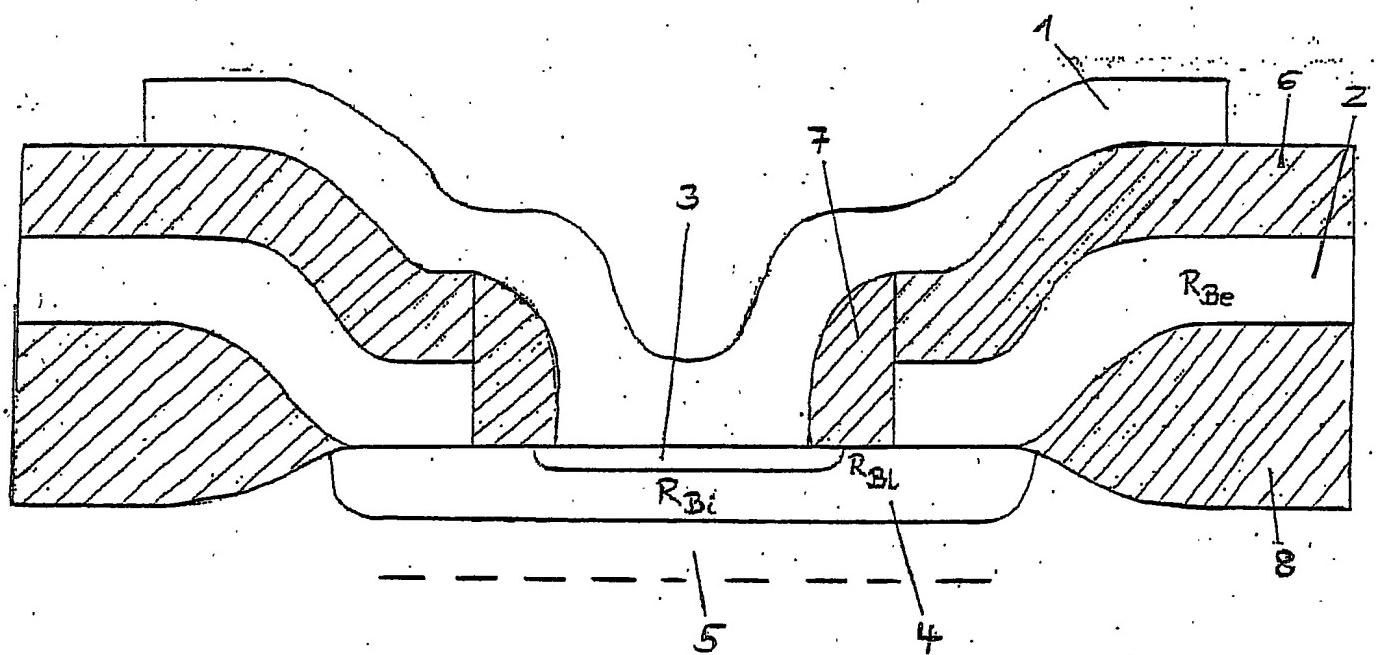
1. Bipolartransistor, mit
einem über eine Emitterelektrode (1) elektrisch kontaktier-
5 baren Emitterbereich (3);
einem über eine Basiselektrode (2) elektrisch kontaktierbaren
Basisbereich (4); und
einem über eine Kollektorelektrode elektrisch kontaktierbaren
Kollektorbereich (5),
10 dadurch gekennzeichnet,
dass wenigstens eine Elektrode der Emitter-, Basis- und
Kollektorelektroden (1, 2) eine Polysiliziumschicht ist, in
der Fremdatome eingebracht sind, die eine hohe Dichte an
Gitterleerstellen in der Elektrode bewirken.
15
2. Bipolartransistor nach Anspruch 1,
dadurch gekennzeichnet,
dass die Fremdatome C-, P- oder Ar-Atome sind.
- 20 3: Bipolartransistor nach Anspruch 1 oder 2,
dadurch gekennzeichnet,
dass die Dichte der Fremdatome in der Polysiliziumschicht
etwa im Bereich von 10^{19} - 10^{21} cm^{-3} liegt.
4. Bipolartransistor nach einem der vorhergehenden Ansprüche,
dadurch gekennzeichnet,
dass die Polysiliziumschicht mit Bor-Atomen dotiert ist.
5. Bipolartransistor nach Anspruch 4,
30 dadurch gekennzeichnet,
dass die Konzentration der Bor-Atome größer als $5 \times 10^{20} \text{ cm}^{-3}$
gewählt ist.
6. Bipolartransistor nach einem der vorhergehenden Ansprüche,
35 dadurch gekennzeichnet,
dass die wenigstens eine Elektrode (1, 2) aus poly-
kristallinem Silizium-Germanium besteht.

7. Bipolartransistor nach einem der vorhergehenden Ansprüche,
dadurch gekennzeichnet,
dass die wenigstens eine Elektrode die Basiselektrode (2)
5 ist.

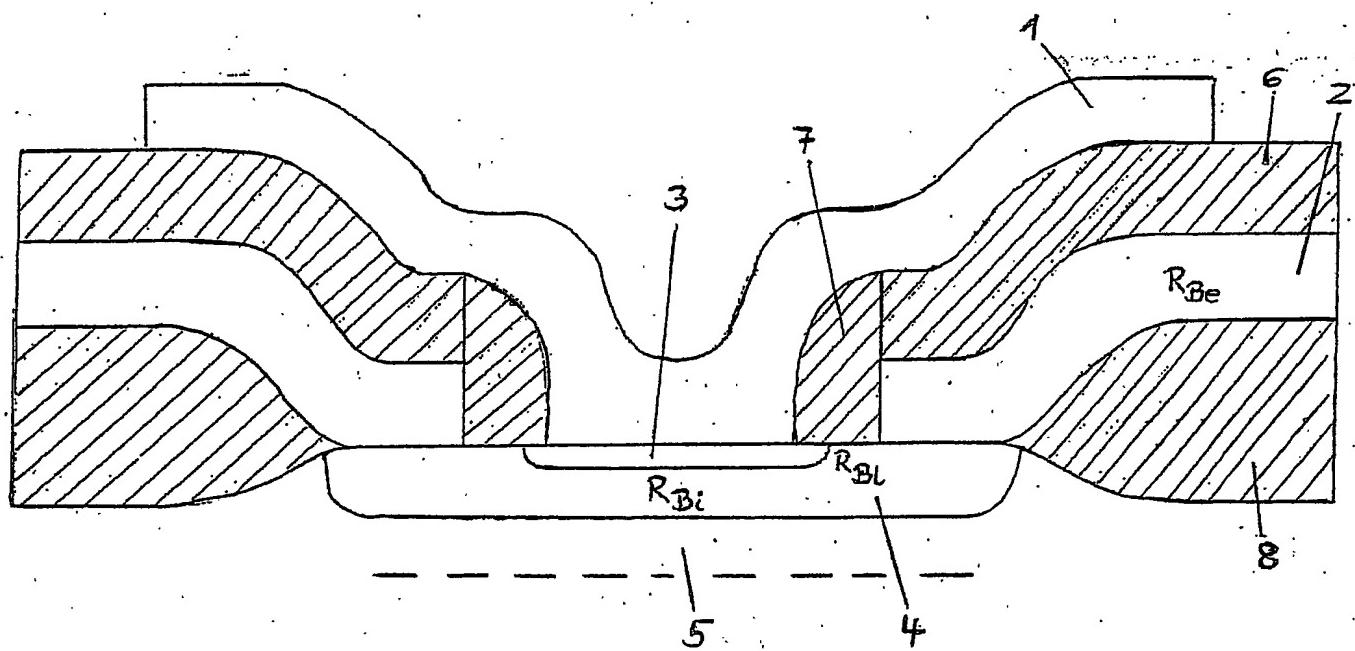
8. Bipolartransistor nach einem der vorhergehenden Ansprüche,
dadurch gekennzeichnet,
dass der Bipolartransistor ein selbstjustierter Bipolar-
10 transistor ist.

Zusammenfassung**Bipolartransistor**

- 5 Zur Reduzierung des Basiswiderstandes und damit zur Erzielung einer niederohmigen Basiselektrode eines Bipolartransistors wird als Basiselektrode (2) eine Polysiliziumschicht verwendet, in der Fremdatome, insbesondere C-Atome, eingebracht sind, die eine hohe Dichte an Gitterleerstellen in der
- 10 Polysiliziumschicht bewirken.



1/1



**This Page is Inserted by IFW Indexing and Scanning
Operations and is not part of the Official Record**

BEST AVAILABLE IMAGES

Defective images within this document are accurate representations of the original documents submitted by the applicant.

Defects in the images include but are not limited to the items checked:

BLACK BORDERS

IMAGE CUT OFF AT TOP, BOTTOM OR SIDES

FADED TEXT OR DRAWING

BLURRED OR ILLEGIBLE TEXT OR DRAWING

SKEWED/SLANTED IMAGES

COLOR OR BLACK AND WHITE PHOTOGRAPHS

GRAY SCALE DOCUMENTS

LINES OR MARKS ON ORIGINAL DOCUMENT

REFERENCE(S) OR EXHIBIT(S) SUBMITTED ARE POOR QUALITY

OTHER: _____

IMAGES ARE BEST AVAILABLE COPY.

As rescanning these documents will not correct the image problems checked, please do not report these problems to the IFW Image Problem Mailbox.